

# Тепловой баланс котельного агрегата

## Тепловой баланс котельного агрегата

Показывает распределение теплоты, вносимой в топку, на полезно используемую и тепловые потери. Теплота, вносимая в топку является приходной частью теплового баланса котла, а полезно используемая теплота и тепловые потери – расходной.

$$Q_p = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 \quad (1)$$

где

$Q_p$  – располагаемая теплота;

$Q_1$  – полезно используемая теплота;

$Q_2$  – потери теплоты с уходящими газами;

$Q_3$  – потеря теплоты от химической неполноты сгорания топлива;

$Q_4$  – потеря теплоты от механической неполноты сгорания топлива;

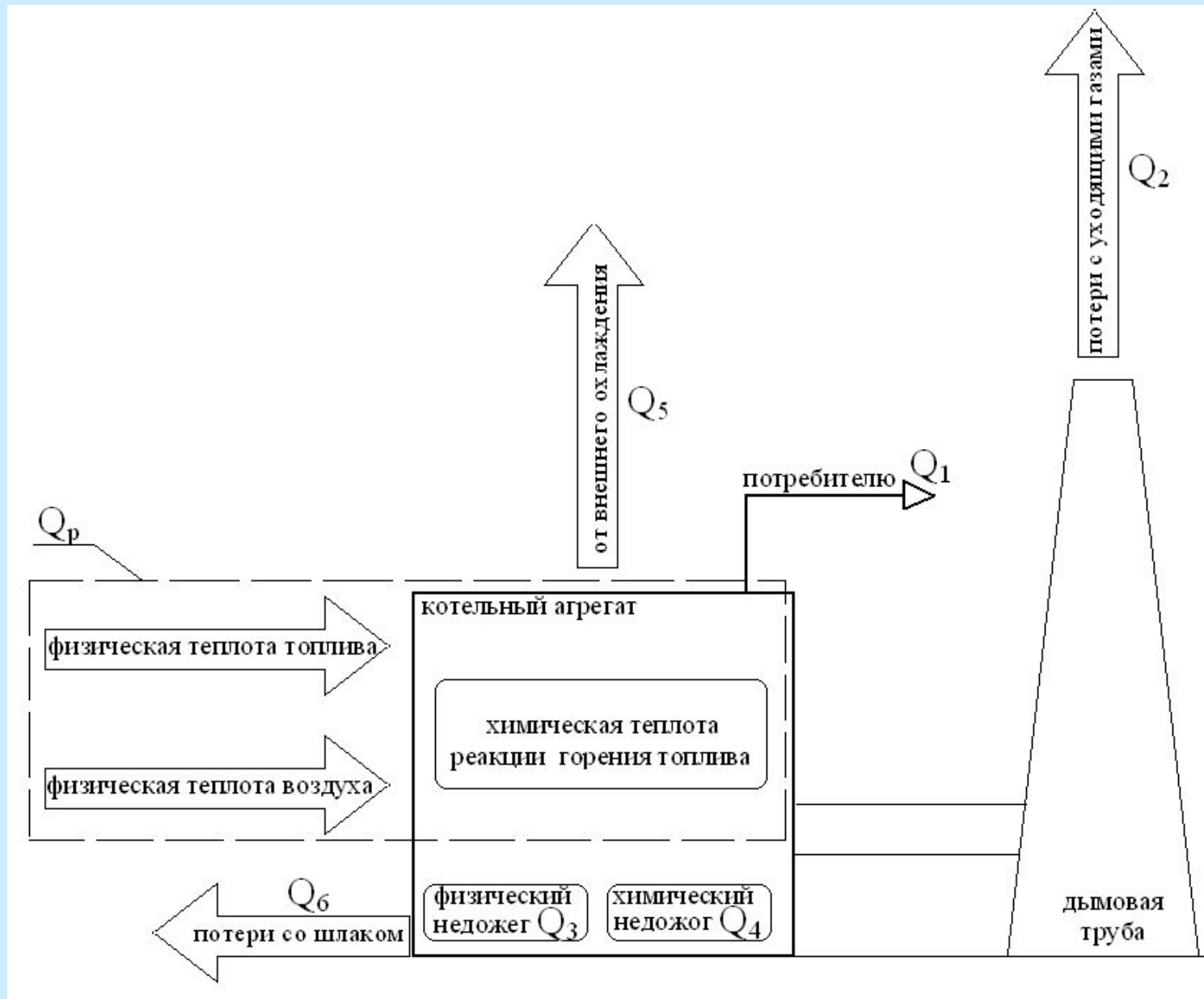
$Q_5$  – потери теплоты от наружного охлаждения котла;

$Q_6$  – потери теплоты с физической теплотой шлака.

Если правую часть уравнения (1) разделить на располагаемую теплоту и умножить на 100%, то

$$q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 = 100\%.$$

# Схема тепловых потоков



# Составляющие теплового баланса котельного агрегата

Располагаемая теплота:  $Q_P^P = Q_{ХИМ} + Q_{ФИЗ}$

химическая теплота:  $Q_{ХИМ} = Q_n^P + Q_{ЭКЗ} - Q_{ЭНД}$ .

$Q_n^P$  - низшая теплота сгорания топлива, химическая;

$Q_{ЭКЗ}$  - теплота от суммарно экзотермических реакций (как правило, это технологические процессы. Например, обжиг колчедана в печах);

$Q_{ЭНД}$  - теплота от суммарно эндотермических реакций, таких как разложение карбонатов при сжигании высокозольных топлив (как правило, горючих сланцев).

физическая теплота:  $Q_{ФИЗ} = Q_{ТЛ} + Q_{ВОЗД} + Q_{ПАР} + Q_{ПР.СГ.}$

(топлива, воздуха, пара, продуктов сгорания)

Полезно используемая теплота:

$Q_1 = \frac{D_{ПЕ}}{B} (i_{ПЕ} - i_{П.В.}) + \frac{D_H}{B} (i_H - i_{П.В.}) + \frac{D_{ПР}}{B} (i_{ПР} - i_{П.В.})$   
(перегретый пар, насыщенный пар, продувочная вода)

Потери теплоты с уходящими газами:  $Q_2 = J_{yx} - J_{x.в.}$

Потеря теплоты от химической неполноты сгорания топлива:

$$Q_3 = V_{с.г.} (126 \cdot CO + 108 \cdot H_2 + 358 \cdot CH_4)$$

$$q_3 = \frac{Q_3}{Q_p} \cdot 100$$

$q_3$  - для природного газа равно 0,1 - 1,0%;

при слоевом сжигании угля 0,5 - 5,0%;

факельное сжигание угольной пыли 0 - 0,5%.

Потеря теплоты от механической неполноты сгорания топлива: учитывается при сжигании твердого топлива.

Потери теплоты от наружного охлаждения котла:

$$Q_5 = \frac{\sum N_{ст}}{B} \cdot [\alpha_{кон} \cdot (\bar{t} - t_{хв}) + q_{луч}]; q_T = [\alpha_{кон} \cdot (\bar{t} - t_{хв}) + q_{луч}] = 200 \div 300, \frac{Вт}{м^2}$$

Потери теплоты с физической теплотой шлака: учитывается при сжигании твердого топлива.

# Причины потерь

Потеря теплоты с уходящими газами возникает из-за того, что физическая теплота газов, покидающих котел, превышает физическую теплоту поступающих в котел воздуха и топлива. Потеря теплоты с уходящими газами занимает обычно основное место среди тепловых потерь котла, составляя 5-12 % располагаемой теплоты топлива.

Химическая неполнота сгорания топлива может явиться следствием:

- общего недостатка воздуха;
- плохого смесеобразования;
- малых размеров топочной камеры;
- низкой температуры в топочной камере;
- высокой температуры.

Потеря теплоты от механической неполноты сгорания связана с недожогом твердого топлива в топочной камере. Часть его в виде горючих частиц, содержащих углерод, водород, серу, может уноситься газообразными продуктами сгорания, часть - удаляется вместе со шлаком.

Потеря теплоты от наружного охлаждения возникает потому, что температура наружной поверхности котла превышает температуру окружающей среды. Этот вид потерь можно подсчитать по уравнению теплопередачи с учетом передачи тепла конвекции и излучения. Характер зависимости определяется снижением отношения площади наружной поверхности котла к тепловыделению с увеличением мощности котла.

Потеря с физической теплотой шлака возникает потому, что при сжигании твердого топлива удаляемый из топки шлак имеет высокую температуру. Это относится к топкам с жидким шлакоудалением, а также к слоевым топкам.

Коэффициентом полезного действия котла называют отношение полезной теплоты, израсходованной на выработку пара (или горячей воды), к располагаемой теплоте котла. Не вся полезная теплота, выработанная котельным агрегатом, направляется потребителям, часть теплоты расходуется на собственные нужды. С учетом этого различают **КПД отопительного котла** по выработанной теплоте (КПД-брутто) и по отпущенной теплоте (КПД-нетто).

По разности выработанной и отпущенной теплот определяется расход на собственные нужды. На собственные нужды расходуется не только теплота, но и электрическая энергия (например, на привод дымососа, вентилятора, питательных насосов, механизмов топливоподачи), т.е. расход на собственные нужды включает в себя расход всех видов энергии, затраченных на производство пара или горячей воды.

По уравнению прямого баланса:

$$\eta_{бр} = 100 Q_{пол} / Q_{расп}$$

где  $Q_{пол}$  — количество полезно используемой теплоты, МДж/кг;

$Q_{расп}$  — располагаемая теплота, МДж/кг;

по уравнению обратного баланса:

$$\eta_{бр} = 100 - (q_{у.г} + q_{х.н} + q_{н.о})$$

где  $q_{у.г}$ ,  $q_{х.н}$ ,  $q_{н.о}$  — относительные с уходящими газами, от химической неполноты сгорания и от наружного охлаждения

Тогда **КПД-нетто отопительного котла** по уравнению обратного баланса

$$\eta_{\text{нетто}} = \eta_{\text{бр}} - q_{\text{с.н}}$$

где  $q_{\text{с.н}}$  — расход энергии на собственные нужды, %.

Определение КПД по уравнению прямого баланса проводят преимущественно при отчетности за отдельный период (декада, месяц), а по уравнению обратного баланса — при испытании **отопительного котла**. Вычисление КПД отопительного котла по обратному балансу значительно точнее, так как погрешности при измерении потерь теплоты меньше, чем при определении расхода топлива.

### **Зависимость КПД котла $\eta_k$ от его нагрузки ( $D/D_{\text{ном}}$ ) 100**

$q_{\text{у.г}}$ ,  $q_{\text{х.н}}$ ,  $q_{\text{н.о}}$  — потери теплоты с уходящими газами, от химической и механической неполноты сгорания, от наружного охлаждения и суммарные потер.

Таким образом, для **повышения эффективности отопительного котла** недостаточно стремиться к снижению тепловых потерь; необходимо также всемерно сокращать расходы тепловой и электрической энергии на собственные нужды, которые составляют в среднем 3...5% теплоты, располагаемой котельным агрегатом.

**Изменение КПД отопительного котла** зависит от его нагрузки. Для построения этой зависимости (рис.) нужно от 100% вычесть последовательно все потери котельного агрегата, которые зависят от нагрузки, т.е.  $q_{\text{у.г}}$ ,  $q_{\text{х.н}}$ ,  $q_{\text{н.о}}$ . Как видно из рисунков, **КПД отопительного котла** при определенной нагрузке имеет максимальное значение. Работа котла на этой нагрузке наиболее экономична.